

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

103 11 903.5

**Anmeldetag:**

17. März 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Infineon Technologies AG, 81669 München/DE

**Bezeichnung:**

Sensorlose Statuserkennung von Gleichstrom-  
motoren

**IPC:**

H 02 K 11/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 25. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

## Beschreibung

## Verfahren zur Ermittlung eines System-Betriebszustandes

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung eines Betriebszustandes eines Systems, in dem wenigstens ein auf den Betriebszustand hinweisendes analoges Signal vorhanden ist.
- 10 Ein derartiges System ist beispielsweise ein Gleichstrommotor, für den es bei einer Vielzahl von Anwendungen dessen Drehzahl und Lastzustand zu erfassen gilt, um ihn geeignet ansteuern zu können. Systeme mit Gleichstrommotoren, bei denen eine ständige Überwachung des Lastzustandes erforderlich
- 15 ist, sind beispielsweise elektrische Antriebe, bei denen unterschiedliche Lastzustände erkannt werden müssen, um die Antriebe und Benutzer gegebenenfalls durch Abschalten des Motors zu schützen. Derartige Lastzustände, bei denen der Motor abgeschaltet werden soll, sind im störungsfreien Betrieb beispielsweise das Erreichen von Endpositionen des Antriebs und
- 20 im störungsbehafteten Betrieb beispielsweise eine erhöhte Reibung durch Verschleiß oder Umwelteinflüsse oder ein in den Antrieb eingebrachtes Hindernis, beispielsweise Gliedmaßen eines Benutzers. Derartige Lastzustände müssen zum Schutz des Bedieners und der Antriebsvorrichtung sicher erkannt werden. Insbesondere in Kraftfahrzeugen werden zunehmend elektrische Antriebe eingebaut, die einfach und kostengünstig herstellbar sein sollen und sicher und zuverlässig funktionieren sollen.
- 30 Zur Drehzahlerkennung und Lastzustandserkennung eines Elektromotors und auch zur Positionsbestimmung einer an den Motor gekoppelten Welle gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Vorrichtungen.
- 35 Weit verbreitet zur Winkelpositionserkennung einer Motorwelle sind Inkrementalgeber, bei denen auf der Motorwelle eine Kodierscheibe angeordnet ist, die Markierungen aufweist, anhand

derer auf die Winkelposition der Welle geschlossen werden kann und die auch eine Drehzahlermittlung der Welle ermöglichen. Derartige Inkrementalgeber sind allerdings aufwendig und kostenintensiv in ihrer Herstellung und erfordern zusätzlichen Platz unmittelbar an dem Motor bzw. an der Welle.

Weiterhin ist es bekannt, zur Drehzahlerfassung eines Motors Hallsensoren in Verbindung mit einem auf der Motorwelle angebrachten Polrad zu verwenden, wobei die Hallsensoren unmittelbar benachbart zu dem Polrad angeordnet sind und bei Rotation der Welle ein sinusförmiges Spannungssignal bereitstellen, aus dessen Frequenz die Drehzahl abgeleitet werden kann. Problematisch ist hierbei, dass der Hallsensor sehr nahe an dem Polrad zu montieren ist, um eine gute magnetische Kopplung zu erreichen. Auch die Messung mittels derartiger Hallsensoren ist aufwendig und kostenintensiv. Außerdem wird zusätzlicher Platz unmittelbar am Motor bzw. an der Welle benötigt, was wiederum die Freiheitsgrade beim Einbau des Motors beschränkt.

20

Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Drehzahl eines Elektromotors ist das sogenannte "Ripple-Counting", bei dem man sich die Tatsache zu Nutze macht, dass der Eingangsstrom bzw. ein an den Eingangsklemmen abgreifbare Versorgungsspannung eines Elektromotors Schwankungen unterliegt, deren Frequenz von der Drehzahl und der Anzahl der Wicklungen des Motors abhängig ist. Hierbei wird die Anzahl der Amplitudenspitzen pro Zeiteinheit ausgewertet, um dadurch auf die Drehzahl schließen zu können. Problematisch ist hierbei, dass neben dem Motor auch andere Verbraucher, die an dieselbe Spannungsquelle wie der Motor angeschlossen sind, Schwankungen der Versorgungsspannung des Motors und damit des Eingangsstroms hervorrufen können, was eine Auswertung des Strom- oder Spannungssignals erschwert. Ein Beispiel für eine Spannungsversorgung mit einer Vielzahl daran angeschlossener Verbraucher ist die Bordnetzversorgung in einem Kraftfahrzeug, wobei in Kraftfahrzeugen neben anderen elektrischen

35

Verbrauchern zunehmend Gleichstrommotoren, beispielsweise für Verstellantriebe jeglicher Art zum Einsatz kommen.

Ein weiteres System, dessen Betriebszustand es dauerhaft zu erfassen gilt, ist beispielsweise ein Insassenschutzsystem in einem Kraftfahrzeug. Derartige Schutzsysteme, beispielsweise Airbags oder Gurtstraffer, umfassen Drucksensoren die die Druckunterschiede bei einem Aufprall eines Gegenstandes auf das Fahrzeug oder des Fahrzeugs auf einen Gegenstand detektieren, um dadurch das Insassenschutzsystem auszulösen. Dabei müssen Druckschwankungen, die auf einen ernsten Aufprall hindeuten, von Druckschwankungen die durch ein für die Insassen harmloses Ereignis, beispielsweise das Aufprallen eines Fußballs auf eine der Türen oder eine starke Windböe, sicher eineindeutig unterschieden werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung wenigstens eines Betriebszustandes oder zur Erfassung einer Änderung eines Betriebszustandes eines Systems, in dem wenigstens ein auf den Betriebszustand hinweisendes analoges Signal vorhanden ist, zur Verfügung zu stellen, das einfach und kostensparend implementierbar ist und das eine zuverlässige Ermittlung des Betriebszustandes ermöglicht.

Dieses Ziel wird durch ein Verfahren gemäß der Merkmale des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung gemäß der Merkmale des Anspruchs 22 erreicht. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erfassung wenigstens eines Betriebszustandes oder einer Betriebszustandsänderung in einem System, in dem wenigstens ein auf den Betriebszustand hinweisendes analoges Signal vorhanden ist, umfasst das Abtasten dieses analogen Signals oder eines von diesem analogen Signal abhängigen - vorzugsweise durch eine Filterung erzeugten - Signals zur Bereitstellung eines Abtastsignals und das

Erzeugen eines eine spektrale Verteilung repräsentierenden Transformationssignals aus einer Anzahl von Signalwerten des Abtastsignals. Dieses Transformationssignal wird mit wenigstens einem eine spektrale Verteilung repräsentierenden Referenzsignal verglichen.

Um bei diesem das Vorliegen eines bestimmten Betriebszustandes zu ermitteln, wird ein Referenzsignal verwendet, das aus einem diesen Betriebszustand repräsentierenden analogen Referenzsignal erzeugt wurde und damit dem zu ermittelnden Betriebszustand zugeordnet ist. Ergibt der Vergleich, dass das Transformationssignal signifikante Übereinstimmungen mit dem Referenzsignal aufweist, so liegt in dem System der durch das Referenzsignal repräsentierte Betriebszustand vor. Vorzugsweise wird das Transformationssignal mit mehreren, jeweils unterschiedliche Betriebszustände repräsentierenden Referenzsignalen verglichen, um auf diese Weise zwischen den verschiedenen Betriebszuständen des Systems unterscheiden zu können.

Um bei dem Verfahren eine zeitliche Änderung des Betriebszustand zu erfassen, wird ein Referenzsignal verwendet, das einem zuvor erzeugten Transformationssignal entspricht.

Das Transformationssignal und das wenigstens eine Referenzsignal sind vorzugsweise diskrete Fouriertransformierte, die mittels einer schnellen Fouriertransformation (Fast Fourier Transformation = FFT) aus einer Anzahl von Abtastwerten des den Betriebszustand darstellenden analogen Signals, das im Folgenden als analoges Systemsignal bezeichnet wird, und des analogen Referenzsignals erzeugt werden. Eine diskrete Fouriertransformierte umfasst bekanntlich eine der Anzahl der Abtastwerte, aus denen sie gebildet ist, entsprechende Anzahl von Spektrallinien, wobei aus der Verteilung dieser Spektrallinien der Lastzustand ermittelbar ist.

Das Vergleichen der diskrete Fouriertransformierten des analogen Systemsignals und des ebenfalls eine Fouriertransformierte darstellenden Referenzsignals, das im Folgenden als Referenz-Transformierte bezeichnet wird, umfasst beispielsweise das Bilden der Beträge dieser Fouriertransformierten, das Ermitteln der Beträge der Differenzen der einzelnen Spektralanteile und das Aufsummieren dieser Betragsdifferenz. Liegt die hierdurch ermittelte Summe unterhalb eines Referenzwertes, so wird davon ausgegangen, dass die Fouriertransformierte des analogen Systemsignals und die Referenz-Transformierte so große Übereinstimmungen aufweisen, dass von einem Vorliegen des durch die Referenz-Transformierte repräsentierten Betriebszustandes ausgegangen werden kann.

Die Untersuchung des den Betriebszustand repräsentierenden analogen Systemsignals im Frequenzbereich statt im Zeitbereich bietet den Vorteil, dass beispielsweise schwankende Offsets des Systemsignals bei der Ermittlung des Betriebszustandes keine oder nur eine sehr geringe Rolle spielen. Dieser Offset wirkt sich lediglich in der Amplitude des den Gleichanteil repräsentierenden Spektralanteils in der diskreten Fouriertransformation aus, wobei dieser Spektralanteil für den Vergleich mit der wenigstens einen Referenz-Transformierten vorzugsweise nicht berücksichtigt wird, da insbesondere die übrigen - keinen Gleichanteil repräsentierenden - Spektralanteile für die Ermittlung des Betriebszustandes relevant sind.

Neben der oben erläuterten Betrachtung der Beträge der Fouriertransformierten beim Vergleich der Fouriertransformierten des Systemsignals und der Referenz-Transformierten besteht selbstverständlich auch die Möglichkeit, die Phasen dieser Fouriertransformierten miteinander zu vergleichen, um zu ermitteln, ob der durch das Referenzsignal repräsentierte Betriebszustand vorliegt. Diese Auswertung der Phasen kann alternativ zur Auswertung der Beträge erfolgen oder kann zusätzlich zu der Auswertung der Beträge vorgenommen werden, um

zusätzliche Informationen zu erhalten und dadurch die Sicherheit bzw. die Qualität der Auswertung zu erhöhen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung des Betriebszustandes oder zur Ermittlung einer Betriebszustandsänderung in einem System, in dem ein den Betriebszustand repräsentierendes analoges Systemsignal vorhanden ist, eignet sich insbesondere zur Ermittlung des Betriebszustandes eines Gleichstrommotors, der Anschlussklemmen zum Anlegen einer Versorgungsspannung aufweist, wobei das den Betriebszustand repräsentierende Signal bei einem solchen Gleichstrommotor eine zwischen den Anschlussklemmen anliegende Spannung ist.

Man macht sich hierbei zu Nutze, dass diese Spannung bei konstanter Drehzahl des Motors periodischen Schwankungen unterliegt, wobei die Periodendauer einer dieser Schwankungen bzw. die Frequenz der zwischen den Anschlussklemmen abgreifbaren Spannung von der Drehzahl des Motors und der Lamellenzahl des Kommutators (Polpaarzahl) des Motors abhängig ist. Tastet man dieses Signal ab und bildet die diskrete Fouriertransformierte aus einer Anzahl von Abtastwerten, so erhält man eine Spektralverteilung bei der insbesondere die Spektrallinie besonders ausgeprägt ist, die dem Produkt aus der Rotationsfrequenz des Motors und Lamellenzahl (Polpaarzahl) des Motors entspricht. Diese Spektralverteilung ändert sich, wenn beispielsweise in Folge sich ändernder Lastverhältnisse des Motors die Motordrehzahl größer oder kleiner wird. Diese Änderung kann durch Vergleich mit entsprechenden Referenz-Transformierten ermittelt werden.

Die Referenz-Transformierte kann -wie erläutert- eine vorab abgespeicherte, beispielsweise anhand von Versuchsreihen ermittelte Transformierte sein, oder die Referenz-Transformierte kann eine Transformierte sein, die anhand vorhergehender Abtastwerte ermittelt wurde, um dadurch beispielsweise eine Änderung des momentanen Betriebszustandes gegenüber einem vorherigen Betriebszustand erkennen zu können.

Selbstverständlich können diese beiden Möglichkeiten zur Bereitstellung einer Referenz-Transformierten miteinander kombiniert werden.

- 5 Das zwischen den Anschlussklemmen des Gleichstrommotors anliegende Signal wird vorzugsweise einer Tiefpassfilterung unterzogen, bevor die Abtastung und Bildung der Fouriertransformierten durchgeführt wird. Die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters ist dabei so gewählt, dass sie kleiner als die halbe  
10 Abtastfrequenz ist, um dadurch Aliasing-Effekte bei der Bildung der diskreten Fouriertransformierten aus den Abtastwerten zu vermeiden.

- Die Auswertung der diskreten Fouriertransformierten der zwischen den Anschlussklemmen des Gleichstrommotors anliegenden  
15 Spannung bzw. die Auswertung der diskreten Fouriertransformierten des tiefpassgefilterten Spannungssignals ermöglicht eine Auswertung des Lastzustandes des Gleichstrommotors hinsichtlich seiner Drehzahl, ermöglicht jedoch keine Ermittlung  
20 der Drehrichtung des Motors. Vorzugsweise ist deshalb vorgesehen, die Spannungen an beiden Anschlussklemmen des Motors gegen ein Bezugspotential zu ermitteln und die ermittelten Spannungen miteinander zu ergleichen, um daraus auf die Drehrichtung des Motors zu schließen. Tastet man diese Spannungen  
5 ab und bildet man aus diesen Abtastwerten diskrete Fouriertransformierte, so kann anhand eines Vergleichs dieser Transformierten mit Referenz-Transformierten beispielsweise auch ein Bremsbetrieb erkannt werden, bei dem die Spannungsversorgung des Motors unterbrochen wird. Selbst die Qualität  
30 von Relaiskontakten eines den Motor an eine Versorgungsspannung anschließenden Relais oder die Laststreckenwiderstände von Transistoren einer den Motor an eine Versorgungsspannung anschließenden H-Brücke können mittels eines solchen Verfahrens ausgewertet werden, um dadurch beispielsweise mögliche  
35 Verschleißerscheinungen bei Langzeitbetrieb des Motors zu detektieren.



Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, direkt aus der an den Anschlussklemmen anliegenden Spannung des Gleichstrommotors bzw. aus dem tiefpassgefilterten Spannungssignal die Drehzahl des Motors zu ermitteln und abhängig von  
5 der ermittelten Drehzahl die Abtastfrequenz einzustellen. Die Drehzahl des Motors aus der an den Anschlussklemmen anliegenden Spannung kann, wie eingangs erwähnt, beispielsweise dadurch ermittelt werden, dass die Anzahl der Spannungsspitzen dieses Signals innerhalb eines Zeitintervalls ermittelt und  
10 anschließend der Quotient aus dem Zeitintervall und der Anzahl der ermittelten Spannungsspitzen gebildet wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung des Betriebszustandes eines Systems, in dem ein den Betriebszustand repräsentierendes analoges Signal vorhanden ist, ist selbstverständlich nicht auf die Detektion des Betriebszustandes bzw.  
15 Lastzustandes eines Gleichstrommotors beschränkt, sondern ist vielmehr auf beliebige Systeme anwendbar.

20 Ein Beispiel für ein weiteres solches System ist ein Insassenschutzsystem in einem Kraftfahrzeug. Ein derartiges Insassenschutzsystem umfasst beispielsweise Airbags oder Gurtstraffersysteme, die abhängig von einem Sensorsignal ausgelöst werden. Der dieses Sensorsignal bereitstellende Sensor  
25 ist beispielsweise ein in einem Türhohlraum des Fahrzeugs angeordneter Drucksensor, der dazu dient, die aus einem Aufprall resultierenden Druckschwankungen zu detektieren. Um die aus einem schwerwiegenden Aufprall resultierenden Druckschwankungen von den Druckschwankungen bei einem harmlosen  
30 Aufprall unterscheiden zu können, wird der Betriebszustand eines solchen Systems mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens dadurch erfasst, dass das Sensorausgangssignal abgetastet wird, aus den Abtastwerten die diskrete Fouriertransformierte gebildet wird und die gebildete Fouriertransformierte  
35 mit wenigstens einer Referenz-Fouriertransformierten verglichen wird, wobei diese Referenz-Transformierte so gewählt ist, dass sie eine gefährliche Situation repräsentieren, um

anhand eines Vergleichs der aus dem Sensorsignal ermittelten Fouriertransformierten und dieser Referenz-Fouriertransformierten diese kritische Situation erkennen zu können.

- 5 Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ermittlung des Betriebszustandes eines Systems, in dem wenigstens ein auf den Betriebszustand hinweisendes analoges Systemsignal vorhanden ist, umfasst eine Abtasteinrichtung zum Abtasten des analogen Signals und Bereitstellen eines Abtastsignals, eine Transformationseinheit, der das Abtastsignal zugeführt ist und die ein Transformationssignal aus einer Anzahl von Abtastwerten des Abtastsignals bereitstellt und eine Vergleichieranordnung, der das Transformationssignal zugeführt ist und die das Transformationssignal mit wenigstens einem eine spektrale
- 10 Verteilung repräsentierenden Referenzsignal, vergleicht, um zu ermitteln, ob der durch das Referenzsignal repräsentierte Betriebszustand vorliegt, und die ein von dem ermittelten Betriebszustand abhängiges Zustandssignal bereitstellt.
- 15 Eine derartige Vorrichtung findet insbesondere Verwendung in einer Ansteuerschaltung für einen Gleichstrommotor, der Anschlussklemmen zum Anlegen einer Versorgungsspannung aufweist, wobei der Vorrichtung zur Ermittlung des Betriebszustandes ein von einer Spannung zwischen diesen Anschlussklemmen abhängiges Signal zugeführt ist.
- 20

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand von Figuren näher erläutert. In den Figuren zeigt

30

Figur 1 das Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Ermittlung des Betriebszustandes eines Systems anhand eines in dem System vorkommenden analogen Systemsignals,

35

Figur 2 einen beispielhaften zeitlichen Verlauf eines den Betriebszustand repräsentierenden analogen System-

signals und die aus diesem Systemsignal gewonnenen Abtastwerte (Figur 2a) und ein Beispiel einer aus N Abtastwerten gebildeten diskreten Fouriertransformierten (Figur 2b),

5

Figur 3 ein Ausführungsbeispiel einer Vergleichereinheit, die eine aus dem Systemsignal ermittelte Fouriertransformierte mit einer Referenz-Fouriertransformierten vergleicht und ein Betriebszustandssignal bereitstellt,

10

Figur 4 ein Ausführungsbeispiel der in Figur 3 dargestellten Einheit innerhalb der Vergleichereinheit, die das Betriebszustandssignal bereitstellt,

15

Figur 5 eine Schaltungsanordnung mit einem Gleichstrommotor und einer Vorrichtung zur Ermittlung des Betriebszustandes des Gleichstrommotors,

20

Figur 6 eine Schaltungsanordnung mit einem Gleichstrommotor und einer Vorrichtung zur Ermittlung der Drehrichtung des Gleichstrommotors,

25

Figur 7 eine Schaltungsanordnung mit einem durch eine Vollbrückenschaltung angesteuerten Gleichstrommotor und einer Schaltungsanordnung zur Bereitstellung eines analogen, den Betriebszustand des Motors zu repräsentierenden Systemsignals,

30

Figur 8 einen beispielhaften zeitlichen Verlauf eines den Betriebszustand repräsentierenden Analogsignals bei einem Gleichstrommotor,

35

Figur 9 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Einstellung der Abtastfrequenz abhängig von dem Analogsignal,

Figur 10 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Einheit zur Erzeugung der diskreten Fouriertransformierten eines Abtastsignals und einer Einheit zur Erzeugung des Abtastsignals aus dem Systemsignal,

Figur 11 Veranschaulichung eines möglichen Verfahrens zur Ermittlung der Periodendauer des Analogsignals.

10 In den Figuren bezeichnen sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Bedeutung.

Figur 1 zeigt das Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Bereitstellung eines von einem Betriebszustand eines Systems abhängigen Zustandssignals  $Z$  aus einem den Betriebszustand des (nicht näher dargestellten) Systems repräsentierenden Analogsignal  $s(t)$ , das im Folgenden als Systemsignal bezeichnet wird. Die Vorrichtung umfasst eine Abtasteinheit 10, die das Systemsignal  $s(t)$  mit einer Abtastfrequenz  $f_a$  abtastet und die ein Abtastsignal  $s(n)$  zur Verfügung stellt. Dieses Abtastsignal  $s(n)$  ist einer Transformationseinheit 20 zugeführt, die aus einer Anzahl von Abtastwerten des Abtastsignals  $s(n)$  ein Transformationssignal  $S(k)$  bereitstellt, das vorzugsweise die diskrete Fouriertransformierte (DFT) des Abtastsignals  $s(n)$  darstellt. Die Abtastfrequenz und die Anzahl der zur Bildung der DFT herangezogenen Abtastwerte ist vorzugsweise einstellbar, wie noch erläutert werden wird. Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Ermittlung der DFT, die insbesondere von der zur Verfügung stehenden Performance der eingesetzten Verarbeitungseinheit 30, die üblicherweise als Mikrocontroller ausgebildet ist, abhängen:

Zum Einen besteht die Möglichkeit, die DFT einmal nach jeweils  $N$  Abtastschritten für die  $N$  Abtastwerte zu ermitteln, wobei  $N$  beispielsweise 128, 256 oder 1024 ist und die DFT dann auszuwerten.

Zum Anderen besteht die Möglichkeit die DFT nach jedem Abtastwert für diesen Abtastwert und die N-1 vorherigen Abtastwerte zu ermitteln, oder nach jeweils M Abtastwerten, wobei  $M < N$  ist, für jeweils N Abtastwerte zu ermitteln.

5

Figur 2a zeigt beispielhaft einen Ausschnitt des zeitlichen Verlaufes des Systemsignals  $s(t)$  und der durch Abtasten dieses Systemsignals  $s(t)$  mit der Abtastfrequenz  $f_a$  ermittelten Abtastwerte  $s(n)$ .

10

Figur 2b zeigt beispielhaft den Betrag einer aus N Abtastwerten des Abtastsignals  $s(n)$  gebildeten diskreten Fouriertransformierten  $S(k)$ . Eine aus N Abtastwerten gebildete diskrete Fouriertransformierte umfasst bekanntlich N Spektrallinien, wobei die Spektrallinien bei 0 den Gleichanteil des Systemsignals  $s(t)$  und die übrigen Spektrallinien Spektralanteile des Systemsignals  $s(t)$  jeweils bei Bruchteilen der Abtastfrequenz  $f_a$  repräsentieren. So repräsentiert die Spektrallinie bei N-1 beispielsweise den Spektralanteil des Systemsignals  $s(t)$  mit der Frequenz  $(N-1)/N \cdot f_a$ . Die diskrete Fouriertransformierte wird aus den N Abtastwerten in hinlänglich bekannter Weise gemäß folgender Gleichung erzeugt:

15

20

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot e^{-j(2\pi/N) \cdot k \cdot n} \quad \text{für } K=0 \dots N-1$$

25

Die Erzeugung der diskreten Fouriertransformierten  $S(k)$  in der Transformationseinheit 20 erfolgt vorzugsweise unter Verwendung einer schnellen Fouriertransformation (FFT), wobei Verfahren für derartige schnelle Fouriertransformationen ausführlich in Oppenheim, Schafer: "Zeitdiskrete Signalverarbeitung", Oldenburg-Verlag, München, 1992, auf den Seiten 661 bis 714 beschrieben sind.

30

35

Die aus dem Systemsignal  $s(t)$  erzeugte diskrete Fouriertransformierte  $S(k)$ , die im Folgenden als Systemsignal-Transformierte bezeichnet wird, wird einer Vergleichereinheit

30 zugeführt, in der diese Systemsignal-Transformierte  $S(k)$  mit wenigstens einer Referenz-Fouriertransformierten verglichen wird, um anhand dieses Vergleiches das Zustandssignal  $Z$  zu erzeugen. Die wenigstens eine Referenz-Fouriertransformierte ist unter Verwendung einer diskreten Fouriertransformation aus einem Analogsignal gebildet, das einen zu detektierenden Betriebszustand repräsentiert. Ergibt der Vergleich der aus dem Systemsignal ermittelten diskreten Fouriertransformierten  $S(k)$  und der Referenz-Fouriertransformierten, dass die Systemsignal-Transformierte  $S(k)$  mit der Referenz-Fouriertransformierten übereinstimmt, so liegt in dem System der durch die Referenz-Fouriertransformierte repräsentierte Betriebszustand vor und ein entsprechendes Zustandssignal  $Z$  wird ausgegeben.

Figur 3 zeigt beispielhaft den Aufbau einer Vergleichereinheit 30, die die Systemsignal-Transformierte  $S(k)$  mit einer Referenz-Transformierten vergleicht und abhängig von dem Vergleichsergebnis ein Zustandssignal bereitstellt, in Blockdarstellung. Die Vergleichereinheit 30 umfasst eine Speichereinheit 301, in der mehrere Referenz-Fouriertransformierte  $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$  gespeichert sind. An die Speichereinheit 301 angeschlossen ist eine Ausleseschaltung 302, die dazu ausgebildet ist, nach Maßgabe eines von einer Steuereinheit 303 gelieferten Adressierungssignal  $ADR$  eine  $S_i(k)$  der Referenz-Fouriertransformierten  $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$  von einem der Speicherplätze der Speichereinheit 301 auszulesen und diese eine Referenz-Fouriertransformierte  $S_i(k)$  einer Vergleichereinheit 304 zuzuführen. Die Vergleichereinheit 304 ist dazu ausgebildet, jede der Referenz-Fouriertransformierten  $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$  mit der Systemsignal-Transformierten  $S(k)$  zu vergleichen und abhängig von diesen Vergleichsergebnissen das Zustandssignal  $Z$  zur Verfügung zu stellen.

Die Referenz-Transformierten sind entweder so gewählt, dass sie zu detektierenden Betriebszuständen entsprechen, um anhand einer Übereinstimmung zwischen der aktuellen Transfor-

mierten und einer Referenz-Transformierten den dieser Referenz-Transformierten zugeordneten Zustand erkennen zu können. Die Referenz-Transformierten können alternativ oder zusätzlich auch so gewählt sein, dass sie zuvor ermittelten Transformierten entsprechen, um anhand von Abweichungen zwischen der momentanen Transformierten und der früheren Transformierten Änderungen des Betriebszustandes erkennen zu können.

Das Zustandssignal  $Z$  ist vorzugsweise ein Vektor mit Vektorelementen  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ , dessen einzelne Vektorelemente jeweils das Vergleichsergebnis zwischen einer der Referenz-Fouriertransformierten  $S_1(k), S_2(k), S_m(k)$  und der Systemsignal-Transformierten  $S(k)$  repräsentieren. Der Vergleichereinheit 304 ist das Adresssignal  $ADR$  zugeführt, um der Vergleichereinheit 304 mitzuteilen, welche der in der Speichereinheit 301 gespeicherten Referenz-Fouriertransformierten am Eingang der Vergleichereinheit 304 gerade anliegt und welches Vektorelement  $Z_i$  des Zustandssignals  $Z$  abhängig von dem Vergleich dieser Referenz-Fouriertransformierten  $S_i(k)$  mit der Systemsignal-Transformierten  $S(k)$  gerade gebildet wird.

Vorzugsweise liefert die Steuereinheit 303 ein Schreib-/Lese-signal an die Schaltung 302, die in diesem Fall dazu ausgebildet ist, abhängig von diesem Signal den Wert aus der durch das Adresssignal vorgegebenen Speicherposition auszulesen oder diese Speicherposition mit einem an einem Eingang  $IN$  anliegenden Wert zu beschreiben. Referenz-Transformierte können mit der in den Figuren 2 und 3 dargestellten Anordnung dann auf einfache Weise erzeugt und abgespeichert werden, indem an die Abtastschaltung anstelle des Systemsignals  $s(t)$  ein Referenzsignal angelegt wird, das einen bestimmten Betriebszustand repräsentiert, und indem die daraus resultierende, am Ausgang der Transformationseinheit 20 anliegende Referenz-Transformierte an eine ausgewählte Speicherposition des Speichers 301 geschrieben wird. Außerdem können zur Erfassung von Betriebszustandsänderungen in regelmäßigen Zeitabständen Transformierte  $S(k)$  in dem Speicher 302 abgelegt werden.

Figur 4 zeigt das Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels der in Figur 3 dargestellten Vergleichereinheit 304. Diese Vergleichereinheit 304 umfasst in dem Beispiel eine Betrags- und Differenzbildungseinheit 305, der die Systemsignal-Transformierte  $S(k)$  und eine  $Si(k)$  der in der Speichereinheit 302 (Figur 3) abgelegten die Referenz-Fouriertransformierten zugeführt ist. Wie bereits anhand von Figur 2 erläutert, umfassen die Systemsignal-Transformierte  $S(k)$  und die Referenz-Fouriertransformierte  $Si(k)$  jeweils eine der Anzahl der Abtastwerte  $N$  entsprechende Anzahl von Signalwerten, wobei in Figur 4  $S(k_0)$  und  $Si(k_0)$  jeweils einen dieser Signalwerte repräsentieren. Die Betrags- und Differenzbildungseinheit 305 bildet die Beträge der einzelnen, üblicherweise komplexwertigen Signalanteile  $S(k_0)$ ,  $Si(k_0)$  der Fouriertransformierten  $S(k)$ ,  $Si(k)$ , bildet die Differenz dieser Beträge und gibt am Ausgang den Betrag dieser ermittelten Differenzen aus. Der Betrags- und Differenzbildungseinheit 305 ist eine Summereinheit 306 nachgeschaltet, die die  $N$  einzelnen Betragsdifferenzen aufsummiert und ein Differenzsignal DIF ausgibt. Dieses Differenzsignal wird mittels eines Komparators  $k$  mit einem Referenzsignal REF verglichen, um einen Zustandswert  $Z_i$  auszugeben, wobei dieser Zustandswert  $Z_i$  in dem Beispiel gleich 1 ist, wenn der Differenzwert DIF kleiner als ein vorgegebener Referenzwert REF ist. Je nach verwendetem Referenzsignal kann anhand des Zustandswertes  $Z_i$  dann erkannt werden, ob ein bestimmter Betriebszustand vorliegt oder ob eine Änderung gegenüber einem früheren Betriebszustand eingetreten ist.

Das durch eine Vergleichereinheit 304 gemäß Figur 4 erläuterte Verfahren entspricht der Ermittlung des Abstandes zwischen dem Betrag der aus dem Systemsignal  $s(t)$  resultierenden Fouriertransformierten  $S(k)$  und der Referenz-Fouriertransformierten  $Si(k)$ , wobei der Zustandswert  $Z_i$  abhängig davon erzeugt wird, ob dieser Abstand größer oder kleiner als der Referenzwert REF ist, wobei davon ausgegangen wird, dass der



durch die Referenz-Fouriertransformierte  $S_i(k)$  resultierte Betriebszustand vorliegt, wenn der Abstand zwischen der Fouriertransformierten  $S(k)$  des Systemsignals  $s(t)$  zu der Referenz-Fouriertransformierten kleiner als der Referenzwert REF ist. Selbstverständlich sind im Zusammenhang mit der Erfindung beliebige weitere Verfahren zur Ermittlung eines Abstandswertes und zur Ermittlung eines Zustandssignals aus dem Abstandswert anwendbar.

- 10 Das zuvor erläuterte Verfahren eignet sich insbesondere zur Ermittlung des Lastzustandes eines Gleichstrommotors M, wie nachfolgend erläutert wird.

Figur 5 zeigt eine Schaltungsanordnung mit einem Gleichstrom-  
15 motor M, der Anschlussklemmen K1, K2 zum Anlegen einer durch eine Versorgungsspannungsquelle V gelieferten Gleichspannung aufweist. Zwischen diesen Anschlussklemmen K1, K2 ist eine Motorspannung  $v(t)$  abgreifbar, die in bekannter Weise periodischen Schwankungen unterliegt, wobei die Frequenz bzw. Periodendauer dieser Schwankungen von der Drehzahl des Motors und der Anzahl der Polpaare des Motors abhängig ist. Diese Motorspannung  $v(t)$  stellt ein den Betriebszustand bzw. Lastzustand des Motors repräsentierendes analoges Signal dar. Die Schaltungsanordnung umfasst weiterhin eine Tiefpassfilteranordnung 50 mit einem ersten Kondensator C10 und ersten und  
20 zweiten Widerständen R10, R20, die in Reihe zwischen die Anschlussklemme K1, K2 geschaltet sind. Parallel zu dem zweiten Widerstand R20 ist ein zweiter Kondensator C20 geschaltet, wobei über der Parallelschaltung dieses zweiten Widerstandes  
25 R20 und dem Kondensator C20 ein tiefpassgefiltertes Signal  $s(t)$  anliegt, das ebenfalls ein den Lastzustand des Motors M repräsentierendes Signal darstellt und das zur Ermittlung eines Zustandssignals Z einer Zustandsermittlungseinheit 1 zugeführt wird.

35

Diese Zustandsermittlungseinheit 1 führt das zuvor erläuterte Verfahren zur Ermittlung des Zustandssignals Z aus und ist

beispielsweise entsprechend der anhand der vorigen Figuren 1, 3 und 4 erläuterten Vorrichtung aufgebaut.

Die Auswertung der Motorspannung  $v(t)$  bzw. des davon abhängigen tiefpassgefilterten Signals  $s(t)$  ermöglicht bei Verwendung geeigneter Referenz-Fouriertransformierten die Ermittlung des Lastzustandes des Motors M, insbesondere die Ermittlung von dessen Drehzahl und auch die Ermittlung altersbedingter Abnutzungserscheinungen.

Um zusätzlich zu diesem Lastzustand auch die Motordrehrichtung zu ermitteln ist bezugnehmend auf Figur 6 vorgesehen, die Spannung an beiden Motoranschlussklemmen K1, K2 jeweils gegen ein Bezugspotential GND zu ermitteln aus dem Verhältnis dieser Spannungen die Polung der Spannungsversorgungsquelle V1 und damit die Drehrichtung des Motors M zu ermitteln. Eine diese Funktion erfüllende Drehzahlermittlungseinheit 70 umfasst zwei vorzugsweise identisch aufgebaute Schaltungszweige, von denen einer an die erste Anschlussklemme K1 und der andere an die zweite Anschlussklemme K2 angeschlossen ist. Jeder der Schaltungszweige umfasst ein Tiefpassfilter R11, R21, C21 bzw. R12, R22, C22 die jeweils ein tiefpassgefiltertes Spannungssignal  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  gegen Bezugspotential bereitstellen. Diese tiefpassgefilterten Signale  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  sind Analogeingängen einer Auswerteeinheit 72, die beispielsweise als Mikrocontroller ausgebildet ist, zugeführt, die aus dem Verhältnis der Signale  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  die Drehrichtung des Motors ermittelt und die darüber hinaus auch in der Lage ist, einen Bremsbetrieb zu detektieren, bei dem die Versorgungsspannung V abgeschaltet ist. Die analogen Signale  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  werden in der Auswerteeinheit 72 vor deren weiteren Verarbeitung abgetastet, wobei jeweils anhand eines Abtastwertes des ersten Signals  $s_1(t)$  und eines Abtastwertes des zweiten Signals  $s_2(t)$  die Drehrichtung erkannt werden kann. Ist dabei das erste Signal  $s_1(t)$  größer als Bezugspotential GND und entspricht das zweite Signal  $s_2(t)$  dem Bezugspotential, liegt also die erste Klemme K1 an dem positiven Versor-

gungsanschluss der Spannungsquelle  $V$ , so wird eine erste Drehrichtung erkannt. Umgekehrt wird eine zweite Drehrichtung erkannt, wenn das erste Signal  $s_1(t)$  auf Bezugspotential und das zweite Signal oberhalb Bezugspotential GND liegt. Liegen  
5 beide Signale  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  auf Bezugspotential, so wird ein Bremsbetrieb des Motors erkannt.

Die Auswerteeinheit ist darüber hinaus optional in der Lage Verschleißerscheinungen beispielsweise an einem die Versorgungsspannung  $V_1$  an den Motor anschließenden Relais  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ , das in Figur 6 schematisch als Anordnung aus vier  
10 Schaltern dargestellt ist, oder einer den Motor an die Versorgungsspannung anschließenden H-Brücke, wie sie beispielhaft in Figur 7 dargestellt ist, zu ermitteln. Hierzu wird  
15 der Auswerteeinheit neben dem ersten und zweiten Analogsignal auch die Versorgungsspannung  $V_1$  zugeführt, um über das Verhältnis der Spannungen an den ersten und zweiten Klemmen, also der ersten und zweiten Signale  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  und der Versorgungsspannung die über den Schaltern  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  abfallende Spannung und damit deren Verschleiß ermitteln zu können.  
20 Dieses Vorgehen wird nachfolgend anhand eines Beispiels kurz erläutert.

Es sei angenommen, dass die Schalter  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  so geschaltet sind, dass an die zweite Klemme über den Schalter  $S_4$   
5 das positive Versorgungspotential der Spannungsquelle und an die erste Klemme  $K_1$  über den Schalter  $S_3$  das Bezugspotential GND angeschlossen ist. Die Potentiale an der ersten und zweiten Klemme  $K_1$ ,  $K_2$  weichen dabei um so stärker von Bezugspotential bzw. Versorgungspotential  $V_1$  ab, je höher der Spannungsabfall über den Schaltern  $S_3$ ,  $S_4$  und damit deren Verschleiß ist. Zur Ermittlung des Spannungsabfalls über den  
30 Schaltern können das erste und zweite Analogsignal  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  verwendet werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass das Signal  $s_1(t)$  über das Spannungsteilerverhältnis des Teilers  $R_{11}$ ,  $R_{12}$  zu der Spannung  $U_{K1}$  an der ersten Klemme  $K_1$  gegen Bezugspotential GND und das Signal  $s_2(t)$  über das Teiler-  
35

verhältnis des Teilers R21, R22 zu der Spannung an der zweiten Klemme Uk2 gegen Bezugspotential in Beziehung steht. Aus den Abtastwerten der Signale s1(t), s2(t) werden in der Auswerteschaltung in Kenntnis dieser Teilverhältnisse die Momentanwerte der Klemmenspannungen Uk1, Uk2 ermittelt und mit abgespeicherten Werteintervallen verglichen. Liegt die erste Klemmenspannung Uk1 dabei innerhalb eines ersten Intervalle, für das gilt:  $0 \leq Uk1 \leq 0,5 \text{ V}$  so werden die Kontakte der Schalter bzw. Relais als intakt angesehen. Liegt die Spannung innerhalb eines zweiten Intervalls, für das beispielsweise gilt:  $0,5 \leq Uk1 \leq 0,75 \text{ V}$ , so wird von erhöhten Normwerten ausgegangen, bei denen eine Funktion allerdings noch gewährleistet ist, während von einer auf Dauer nicht mehr gewährleisteten Funktionsfähigkeit der Schalter ausgegangen wird, wenn die Klemmenspannung in einem oder oberhalb einem Intervall liegt, für das gilt:  $0,5 \leq Uk1 \leq 0,75 \text{ V}$ . Die durch den Vergleich der Klemmenspannung Uk1 erhaltenen Verschleißinformationen können beispielsweise in einem Speicher, wie einem EEPROM, abgelegt und durch einen Benutzer ausgelesen werden. Für die Ermittlung des Verschleißes der übrigen Schalter wird entsprechend vorgegangen, wobei hier die Versorgungsspannung zu berücksichtigen ist und für die Vergleichsintervalle entsprechend der obigen bei der Auswertung der Klemmenspannung Uk1 berücksichtigten Intervalle gilt:  $V1 - 0,5 \text{ V} \leq Uk2 \leq V1$ ,  $V1 - 0,75 \text{ V} \leq Uk2 \leq V1 - 0,5 \text{ V}$ ,  $V1 - 1 \text{ V} \leq Uk2 \leq V1 - 0,75 \text{ V}$ . Von einer auf Dauer nicht gewährleisteten Funktionsfähigkeit wird in diesem Fall dann ausgegangen, wenn die Klemmenspannung Uk2 um mehr als  $\approx 0,75 \text{ V}$  von der Versorgungsspannung V1 abweicht. Selbstverständlich können die zur Verschleißermittlung herangezogenen werden, die zur Ermittlung des Spannungsabfalls über den Schaltern dienen abhängig von den konkreten Schaltelementen gewählt werden und sind bei Halbleiterschaltern, beispielsweise MOSFET anders als bei mechanischen Schaltern, beispielsweise Relais zu wählen.

Figur 7 zeigt eine weitere Schaltungsanordnung mit einem Motor M und einer Ansteuerschaltung für den Motor M wobei die

Ansteuerschaltung eine Vollbrückenschaltung bzw. eine H-Brücke mit vier MOSFET T1, T2, T3, T4 aufweist, die durch eine Ansteuerschaltung 50 angesteuert sind. Der Motor M ist in Reihe zu einer ersten und zweiten Spule L1, L2 zwischen die Anschlüsse A1, A2 der Vollbrückenschaltung geschaltet. Die MOSFET T1-T4 der Vollbrückenschaltung werden durch die Ansteuerschaltung 50 pulswidenmoduliert angesteuert, wobei über den Duty-Cycle der MOSFET die Leistungsaufnahme des Motors geregelt werden kann. Die Induktivitäten L1, L2, die in Reihe zu dem Motor M geschaltet sind, dienen zur Entstörung während der Schaltvorgänge der MOSFET.

Eine Schaltungsanordnung, die ein von der Motorspannung  $v(t)$  abhängiges, ebenfalls den Lastzustand repräsentierendes Signal  $s(t)$  bereitstellt, umfasst einen Operationsverstärker OPV, dessen Eingangsklemmen an die Motorklemmen K1, K2 gekoppelt sind. Zwischen die Eingänge dieses Operationsverstärkers OPV und die Motoranschlussklemmen K1, K2 sind jeweils identisch aufgebaute Filteranordnungen geschaltet, die jeweils ein Hochpassfilter HP1, HP2 bestehend aus einem Kondensator C1, C2 und einem Widerstand R1, R2 und ein dem Hochpassfilter HP1, HP2 nachgeschaltetes Tiefpassfilter TP1, TP2 bestehend aus einem Widerstand R3, R4 und einem Kondensator C3, C4 aufweisen. Die Filter stellen Filterausgangssignal  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$  zur Verfügung, die jeweils auf Bezugspotential GND bezogen sind und die dem Operationsverstärker OPV zugeführt sind. Die Hochpassfilter HP1, HP2 dienen dabei zum Ausfiltern des Gleichanteils aus den zwischen den Motoranschlussklemmen K1, K2 und Bezugspotential GND anliegenden Spannungen, und die den Hochpassfiltern HP1, HP2 nachgeschalteten Tiefpassfilter TP1, TP2 dienen zur Bandbegrenzung für die nachfolgende Abtastung des Systemsignals  $s(t)$ . Wobei die Tiefpassfilter TP1, TP2 auch hochfrequente Störanteile eliminieren, die aus der getakteten Ansteuerung der MOSFET T1-T4 resultieren.

Der zeitliche Verlauf dieses aus der Motorspannung  $V(t)$  resultierenden, für die Ermittlung des Lastzustandes verwend-

ten Systemsignals  $s(t)$  ist beispielhaft in Figur 8 dargestellt. Die periodischen Schwankungen dieses Signals  $s(t)$ , deren Periodendauer  $T_p$  von der Drehzahl des Motors und der Anzahl der Polpaare des Motors abhängig ist, sind in Figur 8 deutlich zu erkennen. Die Abtastfrequenz für die nachfolgende Abtastung dieses Systemsignals  $s(t)$  ist vorzugsweise von dieser Periodendauer  $T_p$  abhängig, wobei die Abtastfrequenz vorzugsweise so gewählt und auf die Anzahl der für die Bildung der Fourier-Transformierten zu ermittelnden Abtastwerte  $N$  abgestimmt ist, dass die  $N$  Abtastwerte in einem Zeitfenster ermittelt werden, das größer als die Periodendauer  $T_p$  ist.

Figur 9a zeigt im Blockschaltbild eine Vorrichtung zu Ermittlung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus dem Systemsignal  $s(t)$ . Die Vorrichtung 60 umfasst eine Einheit zur Ermittlung der Periodendauer  $T_p$  dieses Systemsignals  $s(t)$ . Die durch die Periodendauerermittlungseinheit 601 bereitgestellte Periodendauer  $T_p$  ist einer Abtastfrequenzermittlungseinheit 602 zugeführt, die unter Verwendung der ermittelten Periodendauer  $T_p$  die Abtastfrequenz  $f_a$  bestimmt, die der Abtasteinheit (Figur 1) zugeführt ist. Figur 11 veranschaulicht ein mögliches Verfahren zur Ermittlung der Periodendauer  $T_p$  durch die Periodendauerermittlungseinheit 601. Figur 11a zeigt den zeitlichen Verlauf des Eingangssignals  $s(t)$  sowie eine Entscheiderschwelle eines in der Periodendauerermittlungseinheit 601 vorhandenen Schmitt-Triggers, der das in Figur 11b dargestellte Ausgangssignal zur Verfügung stellt, wobei dieses Signal einen High-Pegel aufweist, wenn das Signal  $s(t)$  oberhalb der Schwelle liegt und einen Low-Pegel aufweist, wenn das Signal  $s(t)$  unterhalb der Schaltschwelle des Schmitt-Triggers liegt. In der Periodendauerermittlungseinheit 601 ist dabei ein Timer vorhanden, dessen Timerwert in Figur 11c beispielhaft über der Zeit  $t$  dargestellt ist. Mit jeder steigenden Flanke des Signals des Schmitt-Triggers wird der Wert des Timers ermittelt, wobei zum Zeitpunkt  $t$  in dem Beispiel ein Timerwert  $A$  und zum Zeitpunkt  $t_2$  der nachfolgenden steigenden Flanke des Schmitt-Triggersignals ein Timerwert  $B$  vorliegt. In Kenntnis der Taktfrequenz, mit

Taktfrequenz, mit welcher der Timer hochgezählt wird, wird aus der Differenz B-A dieser Timerwerte der zeitliche Abstand zwischen dem Zeitpunkt t1 und t2, und damit die Periodendauer Tp ermittelt.

5

Die Vorrichtung 60 umfasst beispielsweise einen Mikrocontroller, der einen Interrupteingang aufweist, dem das zuvor erläuterte, in Figur 11b dargestellte Schmitt-Triggersignal zugeführt ist. Nach Maßgabe der durch das Schmitt-Triggersignal erzeugten Interrupts werden die jeweiligen Zählerstände des Timers ausgelesen. Eine solche Realisierung der Einheit 601 mittels eines Schmitt-Triggers 603 und eines Mikrocontrollers 604 ist schematisch in Figur 9b dargestellt.

10

15 Die Abtastfrequenzermittlungsfrequenz 602 ist dazu ausgebildet, die Abtastfrequenz fa so zu erzeugen, dass innerhalb der durch die Periodendauerermittlungseinheit 601 ermittelten Periodendauer Tp gleich viele Abtastwerte ermittelt werden. Wenn N die Anzahl der innerhalb einer Periodendauer Tp zu ermittelten Abtastwerte ist, so gilt für die Abtastfrequenz fa:

20

$$fa = 1 / (Tp \cdot N).$$

Vorzugsweise wird die Anzahl der zu erzeugenden Abtastwerte abhängig von der Periodendauer Tp eingestellt, um beispielsweise bei längeren Periodendauern Tp mehr Abtastwerte zu erzeugen. Die Anzahl der Abtastwerte, zwischen denen ausgewählt werden kann, sind dabei vorzugsweise Vielfache von 2, wobei generell gilt, dass die Qualität des Verfahrens um so besser ist, je mehr Abtastwerte pro Periode des Signals ermittelt werden. Vorzugsweise werden mindestens 128 Abtastwerte pro Periodendauer Tp ermittelt. Besser sind selbstverständlich 256, 512 oder 1024 oder noch mehr Abtastzeitpunkte pro Periodendauer.

30

35

Die Entscheiderschwelle des Schmitt-Triggers 603 kann beispielsweise dadurch erzeugt werden, dass der Mittelwert vor-

hergehender Abtastwerte des Analogsignals  $s(t)$  gebildet wird, wobei beispielsweise der Mittelwert einer vorgegebenen Anzahl zuletzt ermittelter Abtastwerte gebildet wird.

- 5 Figur 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Transformations-  
einheit 20, die aus dem Abtastsignal  $s(n)$  die diskrete Fou-  
riertransformierte  $S(k)$  bereitstellt. Diese Transformations-  
einheit 20 umfasst eine Einheit 201 zur Berechnung der dis-  
kreten Fouriertransformierten  $S(k)$  aus gewichteten Abtastwer-  
10 ten  $s'(n)$ , wobei die gewichteten Abtastwerte  $s'(n)$  aus einer  
Gewichtung der Abtastwerte  $s(n)$  resultieren. Die Gewichtung  
erfolgt beispielsweise derart, dass die  $N$ -Abtastwerte, aus  
denen die diskrete Fouriertransformierte  $S(k)$  gebildet wird,  
beispielsweise unter Verwendung eines sogenannten Haming-  
15 Fensters gewichtet werden, das die Werte am Anfang und am En-  
de der  $N$  Abtastwerte umfassenden Folge weniger stark als die  
Werte in der Mitte der Abtastfolge gewichtet.

- Die Abtasteinheit 10 umfasst vorzugsweise einen Digital-  
20 Analog-Wandler, so dass der Transformationseinheit 20 zur  
Bildung einer diskreten Fouriertransformierten  $N$  Abtastwerte  
zugeführt sind, die jeweils eine Wortbreite von  $m$  Bit aufwei-  
sen. Die am Ausgang der Transformationseinheit 20 zur Verfü-  
gung gestellte diskrete Fouriertransformierte umfasst ent-  
5 sprechend  $N$  Spektralanteile, wobei  $2 \cdot N$  Werte zur Berücksich-  
tigung des Realteils und des Imaginärteils der diskreten Fou-  
riertransformierten ausgegeben werden.



## Bezugszeichenliste

5	1	Vorrichtung zur Ermittlung eines Zustandssignals
	10	Abtasteinheit
	20	Transformationseinheit
	201	Fouriertransformationseinheit
10	202	Multiplizierer
	30	Vergleichereinheit
	302	Ausleseereinheit
	303	Steuereinheit
	304	Vergleichereinheit
15	305	Betrags- und Differenzbildungseinheit
	306	Summiereinheit
	50	Filterereinheit
	601	Periodenermittlungseinheit
	602	Abtastfrequenzvermittlungseinheit
20	80	Ansteuereinheit
	ADR	Adressierungssignal
	C10, C20	Kondensatoren
	C1-C4	Kondensatoren
5	DIF	Differenzsignal
	fa	Abtastfrequenz
	GND	Bezugspotential
	HP1, HP2	Hochpassfilter
	k	Komparator
30	K1, K2	Motoranschlussklemmen
	M	Motor
	OPV	Operationsverstärker
	R10, R20	Widerstände
	R1-R4	Widerstände
35	R5, R6	Widerstände
	REF	Referenzwert
	S(k) F	Fouriertransformierte

	$s(n)$	Abtastsignal
	$s(t)$	Systemsignal
	$S1(k)$	Referenz-Fouriertransformierte
	$S1(k), S2(k), Sm(k)$	Referenz-Fouriertransformierte
5	T1-T4	MOSFET
	TP1, TP2	Tiefpassfilter
	V	Versorgungsspannungsquelle
	$v(t)$	Motorspannung
	Vbat	Versorgungspotential
10	Z	Zustandssignal
	Zi	Zustandssignalwert

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung eines Betriebszustandes oder einer Änderung eines Betriebszustandes in einem System, in dem wenigstens ein auf den Betriebszustand hinweisendes analoges Signal ( $v(t)$ ,  $s(t)$ ) vorhanden ist, wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte aufweist:

- Abtasten des analogen Signals oder eines von dem analogen Signal abhängigen Signals ( $s(t)$ ) zur Bereitstellung eines Abtastsignals ( $s(n)$ ),

- Erzeugen eines eine spektrale Verteilung repräsentierenden Transformationssignals ( $S(k)$ ) aus einer Anzahl ( $N$ ) von Signalwerten des Abtastsignals ( $s(n)$ ),

- Vergleichen des Transformationssignals ( $S(k)$ ) mit wenigstens einem eine spektrale Verteilung repräsentierenden Referenzsignal ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das wenigstens eine Referenzsignal aus einem einen zu erfassenden Betriebszustand repräsentierenden analogen Referenzsignal erzeugt wurde.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem das wenigstens eine Referenzsignal ein anhand vorheriger Abtastwerte erzeugtes Transformationssignal ist.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Transformationssignal  $S(k)$  und das wenigstens eine Referenzsignal ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ) diskrete Fouriertransformierte sind.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die diskreten Fouriertransformierten mittels einer schnellen Fouriertransformation (FFT) erzeugt werden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Abtastsignal ( $s(n)$ ) vor der Erzeugung des Transformationssignals ( $S(k)$ ) bandbegrenzt wird.

5 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Transformationssignal ( $S(k)$ ) mit mehreren Referenzsignalen ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ) verglichen wird.

10 8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die zur Bildung des Transformationssignals ( $S(k)$ ) verwendeten Abtastwerte vor der Bildung des Transformationssignals ( $S(k)$ ) einer Gewichtung unterworfen werden, bei der wenigstens zwei der Abtastwerte unterschiedlich gewichtet werden.

15 9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Beträge der diskreten Fouriertransformierten ( $S(k)$ ) des Abtastsignals  $s(n)$  und des wenigstens einen Referenzsignals ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ) miteinander verglichen werden.

20 10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem ein durch das wenigstens eine Referenzsignal ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ) repräsentierter Zustand als vorliegend angenommen wird, wenn die Summe (DIF) der Beträge der Differenzen der einzelnen Spektralanteile der diskreten Fouriertransformierten ( $S(k)$ ) des Abtastsignals ( $s(n)$ ) und des wenigstens einen Referenzsignals ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ) kleiner als ein Referenzwert (REF) ist.

30 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, bei dem auch die Phasen der Fouriertransformierten des Abtastsignals  $s(n)$  und des Referenzsignals ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ) miteinander verglichen werden.

35 12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Abtastfrequenz abhängig von einer ermittelten Periodendauer des Analogsignals ( $s(t)$ ) so eingestellt wird, dass die Anzahl der pro Periode des Signals ( $s(t)$ ) ermittelten Abtastwerte einer vorgegebenen Anzahl ( $N$ ) entspricht.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem die Periodendauer durch einen Vergleich des Analogsignals ( $s(t)$ ) mit einem vorgegebenen Schwellenwert entspricht.

5

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem der Schwellenwert durch eine Mittelwertbildung des Analogsignals ( $s(t)$ ) erzeugt wird.

10 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 zur Ermittlung eines Betriebszustandes eines Gleichstrommotors (M), der Anschlussklemmen (K1, K2) zum Anlegen einer Versorgungsspannung (V) aufweist, wobei das auf den Betriebszustand hinweisende Signal eine zwischen den Anschlussklemmen anliegende  
15 Spannung ( $v(t)$ ) ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem die zwischen den Anschlussklemmen anliegende Spannung ( $v(t)$ ) einer Tiefpassfilterung unterzogen wird und das Transformationssignal ( $S(k)$ )  
20 aus dem aus der Tiefpassfilterung resultierenden Signal ( $s(t)$ ) gebildet wird.

17. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem eine Spannung an beiden Anschlussklemmen (K1, K2) gegen ein Bezugspotential (GND) ermittelt und die ermittelten Spannungen miteinander  
25 verglichen werden, um eine Drehrichtung des Motors zu ermitteln.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei dem direkt aus der an den Anschlussklemmen (K1, K2) anliegenden  
30 Spannung ( $v(t)$ ) die Drehzahl des Motors (M) ermittelt wird und bei dem abhängig von der ermittelten Drehzahl die Abtastfrequenz ( $f_a$ ) eingestellt wird.

35 19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem 128 Abtastwerte des Abtastsignals ( $s(n)$ ) zur Bildung des Transformationssignals ( $S(k)$ ) herangezogen werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 zur Ermittlung des Betriebszustandes eines Insassenschutzsystems in einem Kraftfahrzeug, wobei das analoge Signal ( $s(t)$ ) ein durch  
5 einen Sensor bereitgestelltes Signal ist.

21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem der Sensor ein Drucksensor ist.

10 22. Vorrichtung zur Erfassung des Betriebszustandes oder zur Erfassung der Änderung des Betriebszustandes eines Systems eines Systems, in dem wenigstens ein auf den Betriebszustand hinweisendes analoges Signal ( $s(t)$ ) vorhanden ist, wobei die Vorrichtung folgende Verfahrensschritte aufweist:

15

- eine Abtasteinrichtung (10) zum Abtasten des analogen Signals ( $s(t)$ ) und Bereitstellen eines Abtastsignals ( $s(n)$ ),

20

- eine Transformationseinheit (20), der das Abtastsignal ( $s(n)$ ) zugeführt ist und die ein Transformationssignal ( $S(k)$ ) aus einer Anzahl ( $N$ ) von Abtastwerten des Abtastsignals ( $s(n)$ ) bereitstellt,

30

- eine Vergleichieranordnung (30), der das Transformationssignal ( $S(k)$ ) zugeführt ist und die das Transformationssignal ( $S(k)$ ) mit wenigstens einem eine spektrale Verteilung repräsentierenden Referenz-Transformationssignal ( $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_m(k)$ ) vergleicht und die ein Zustandssignal ( $Z$ ) bereitstellt.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, bei dem das wenigstens eine Referenzsignal aus einem einen zu erfassenden Betriebszustand repräsentierenden analogen Referenzsignal erzeugt wurde.

35

24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23 bei dem das wenigstens eine Referenzsignal ein anhand vorheriger Abtastwerte erzeugtes Transformationssignal ist.

25. Ansteuerschaltung für einen Gleichstrommotor, der Anschlussklemmen (K1, K2) zum Anlegen einer Versorgungsspannung (V) aufweist, wobei die Ansteuerschaltung folgende Merkmale aufweist:

- eine Filteranordnung (50) zur Filterung einer zwischen den Anschlussklemmen (K1, K2) anliegenden Spannung ( $v(t)$ ) und Bereitstellung eines gefilterten Signals ( $s(t)$ ),

- eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, der das Filtersignal zu ( $s(t)$ ) geführt ist und die das von dem Betriebszustand abhängige Signal (Z) bereitstellt.

26. Ansteuerschaltung nach Anspruch 25, die eine Drehrichtungserfassungseinheit (70) aufweist, die an die Anschlussklemmen (K1, K2) angeschlossen ist und die die Potentiale an den beiden Klemmen (K1, K2) gegen ein Bezugspotential (GND) ermittelt und anhand eines Vergleichs der Potentiale ein die Drehrichtung anzeigendes Signal (DR) bereitstellt.

## Zusammenfassung

### Verfahren zur Ermittlung eines System-Betriebszustandes

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung eines Betriebszustandes oder einer Änderung eines Betriebszustandes in einem System, in dem wenigstens ein auf den Betriebszustand hinweisendes analoges Signal vorhanden ist, wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte auf-
- 10 weist:
- Abtasten des analogen Signals oder eines von dem analogen Signal abhängigen Signals zur Bereitstellung eines Abtastsignals,
- 15
- Erzeugen eines eine spektrale Verteilung repräsentierenden Transformationssignals aus einer Anzahl von Signalwerten des Abtastsignals,
- 20
- Vergleichen des Transformationssignals mit wenigstens einem eine spektrale Verteilung repräsentierenden Referenzsignal.



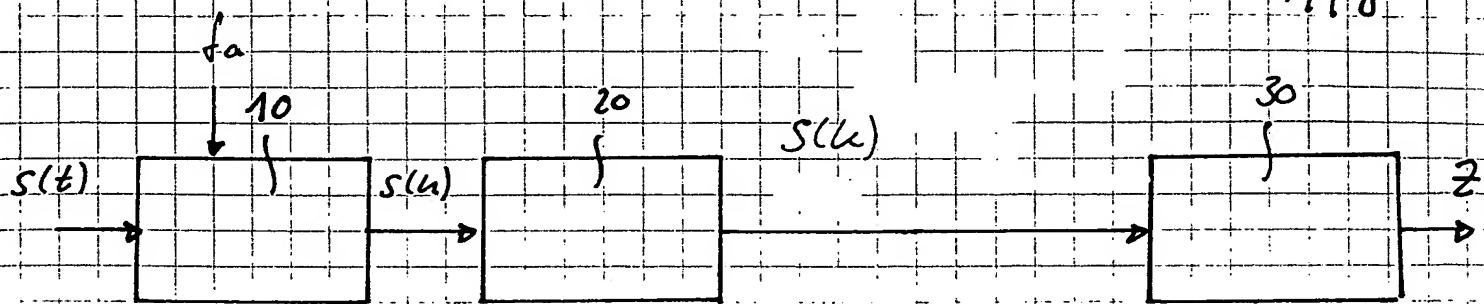


FIG 1

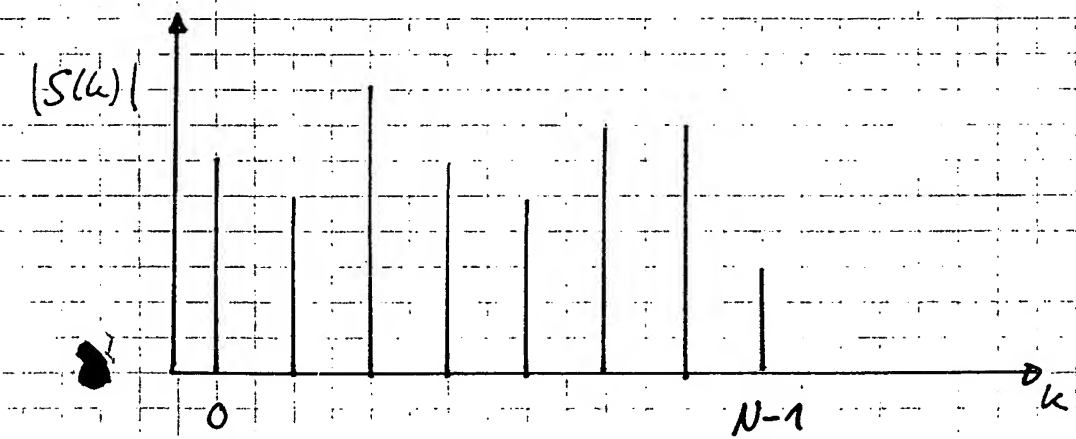
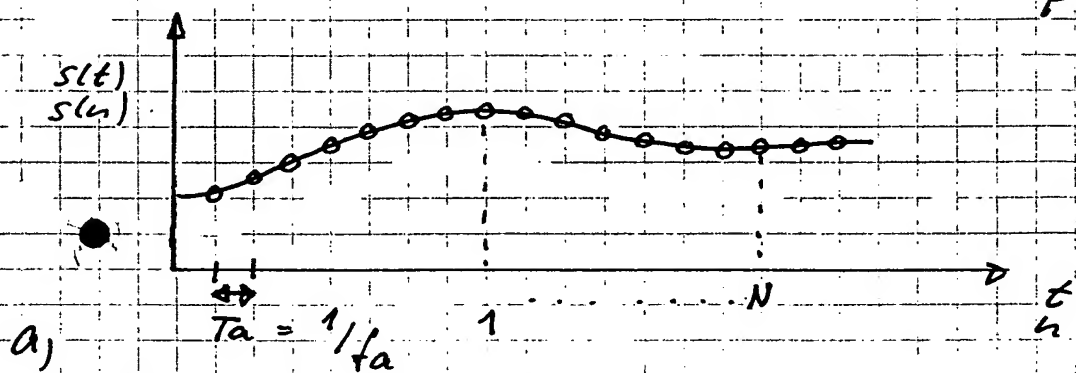


FIG 2

218

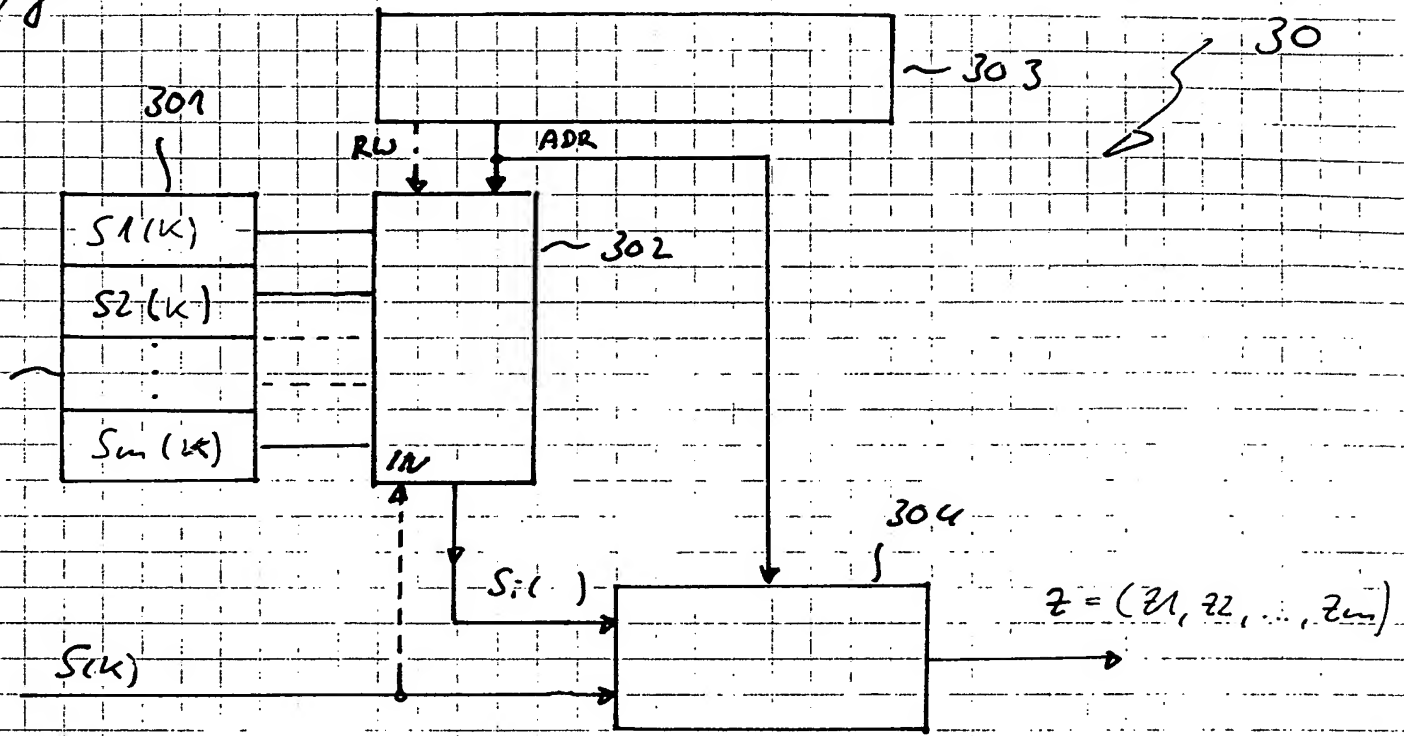


Fig 3

318

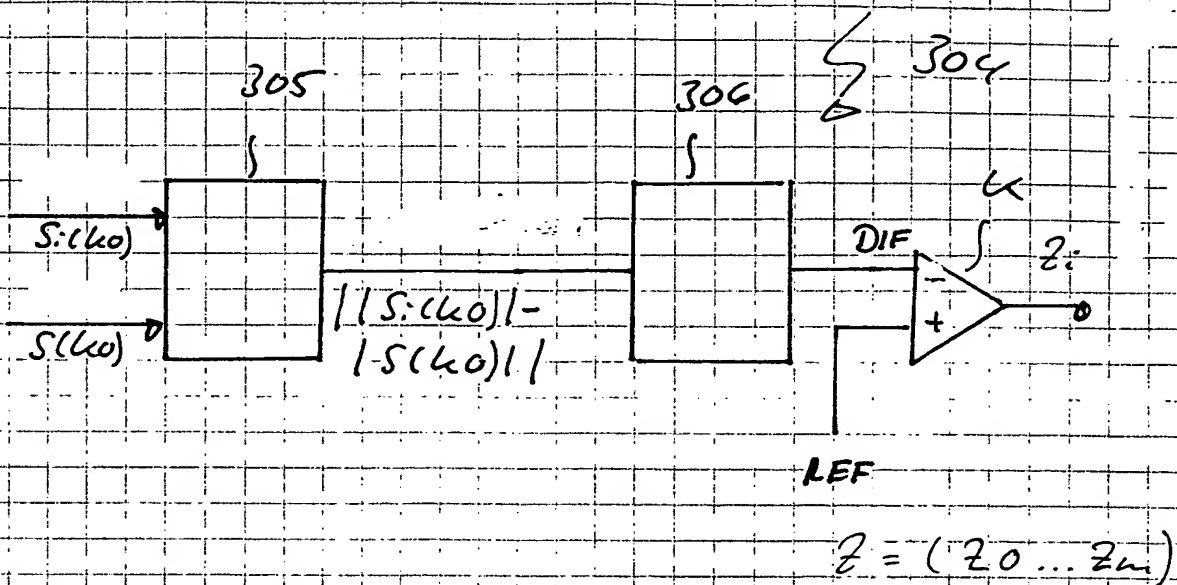


FIG 4

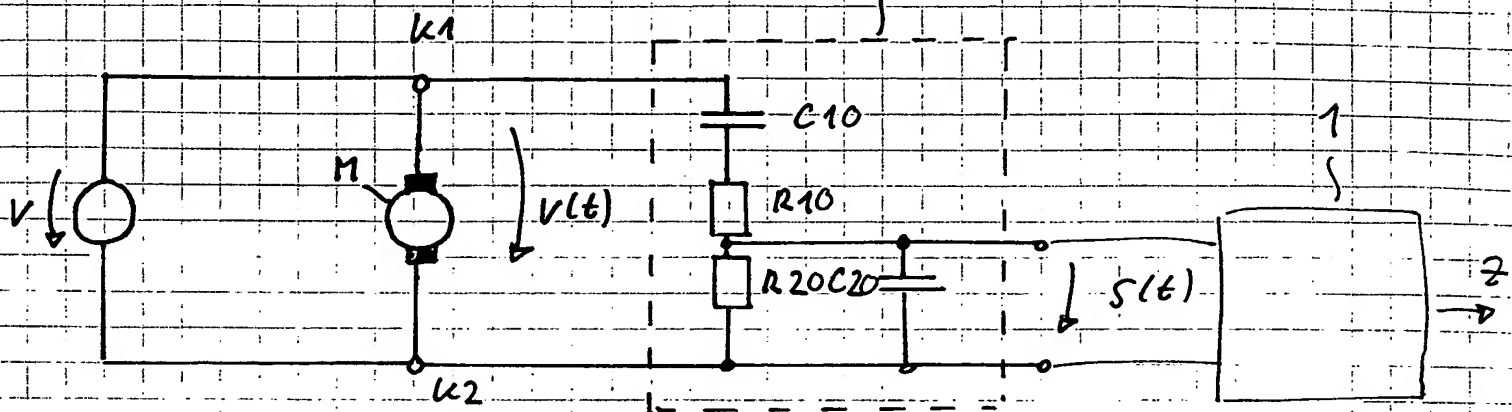


FIG 5

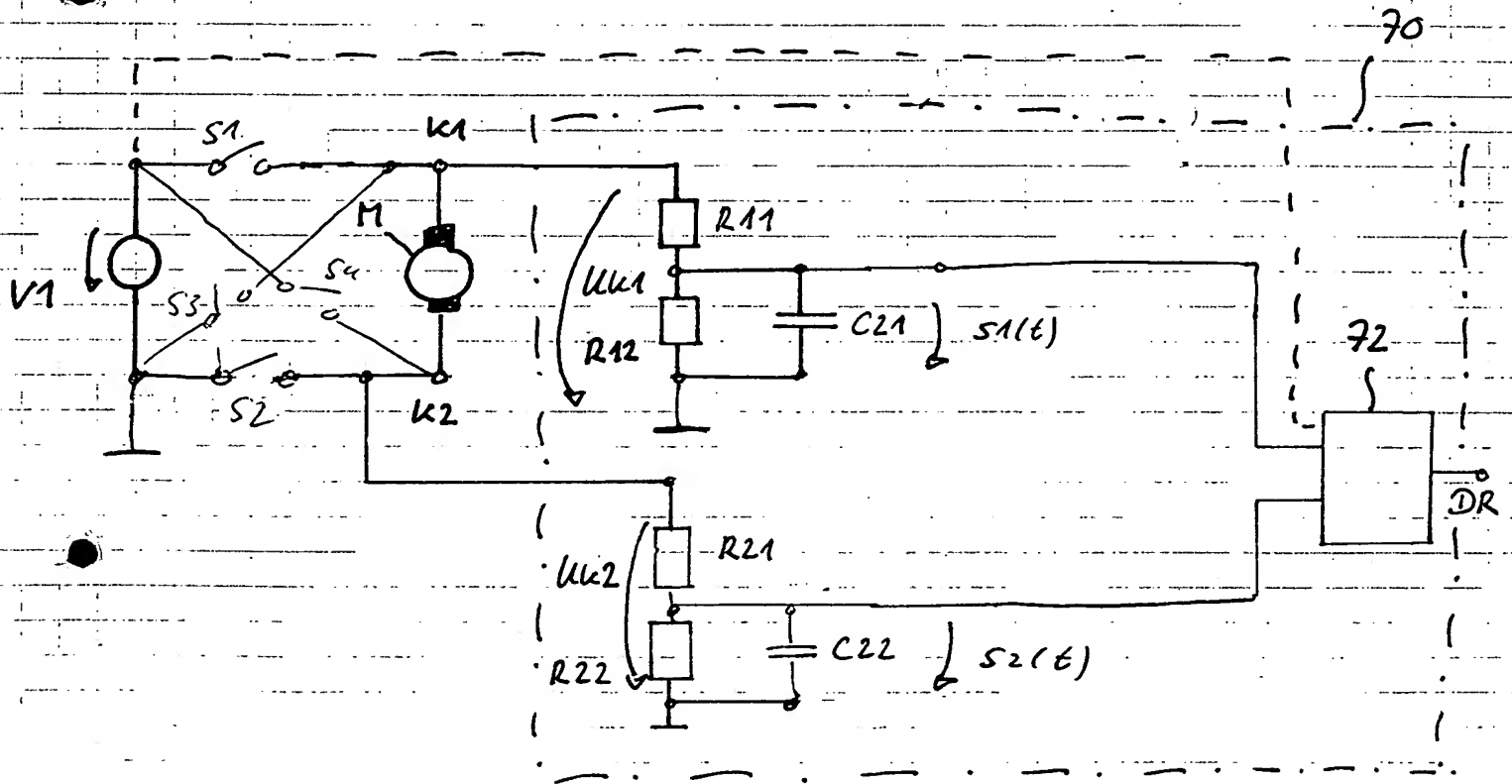


FIG 6

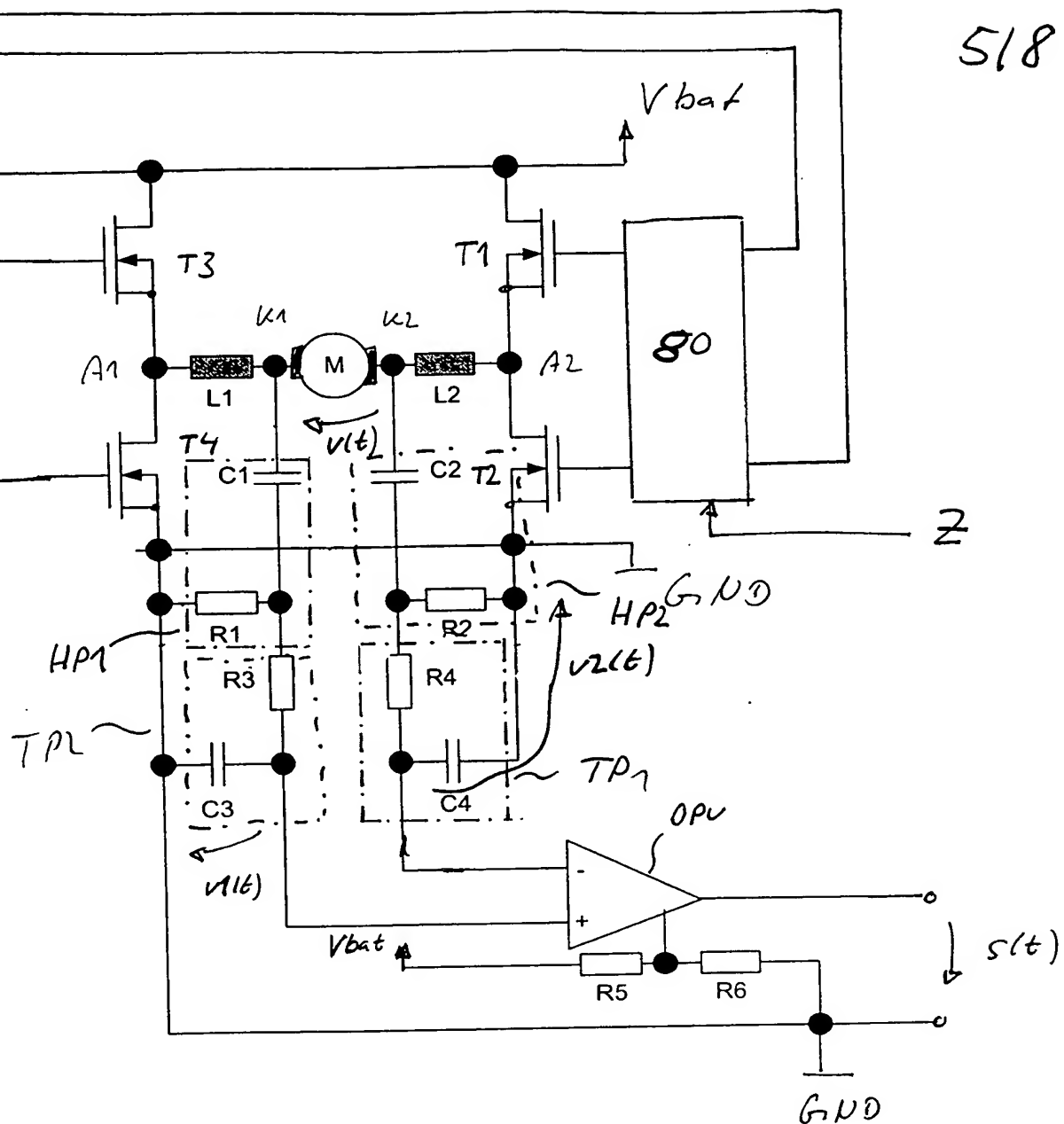


FIG 7

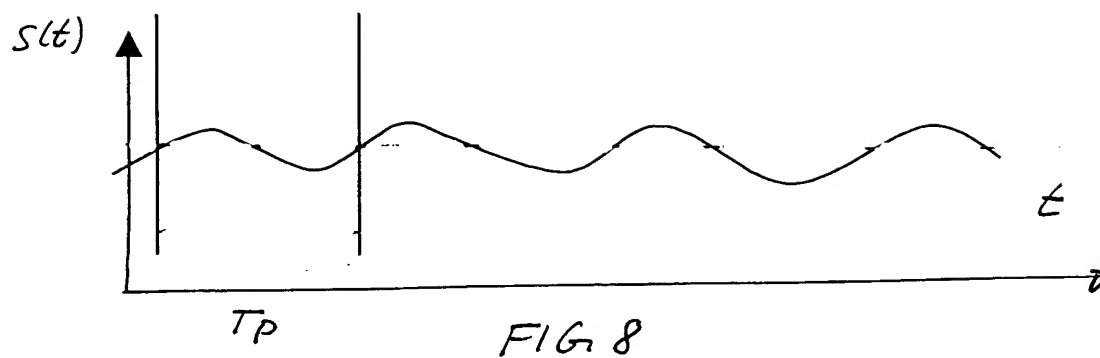


FIG 8

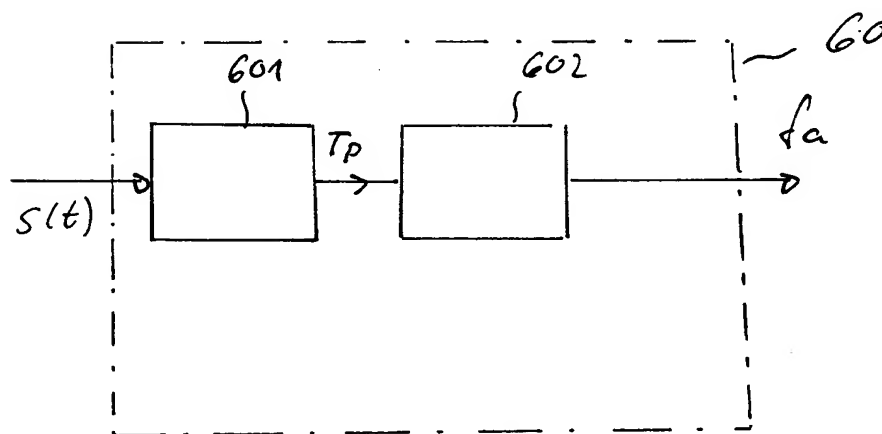


FIG 9 a,

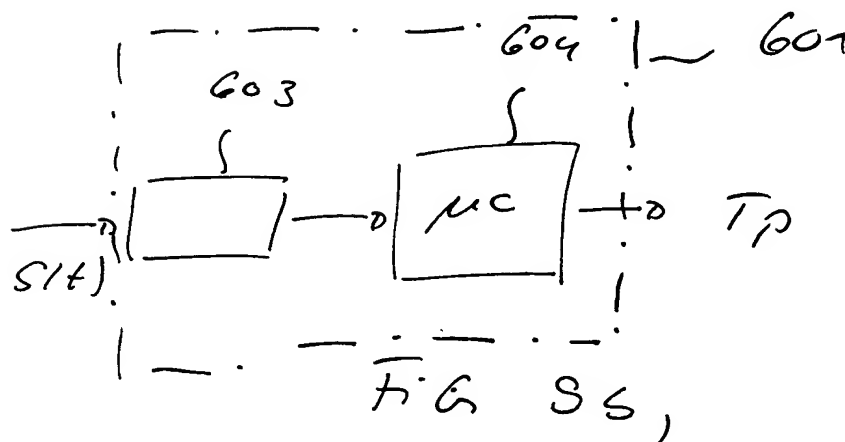


FIG 9 b,

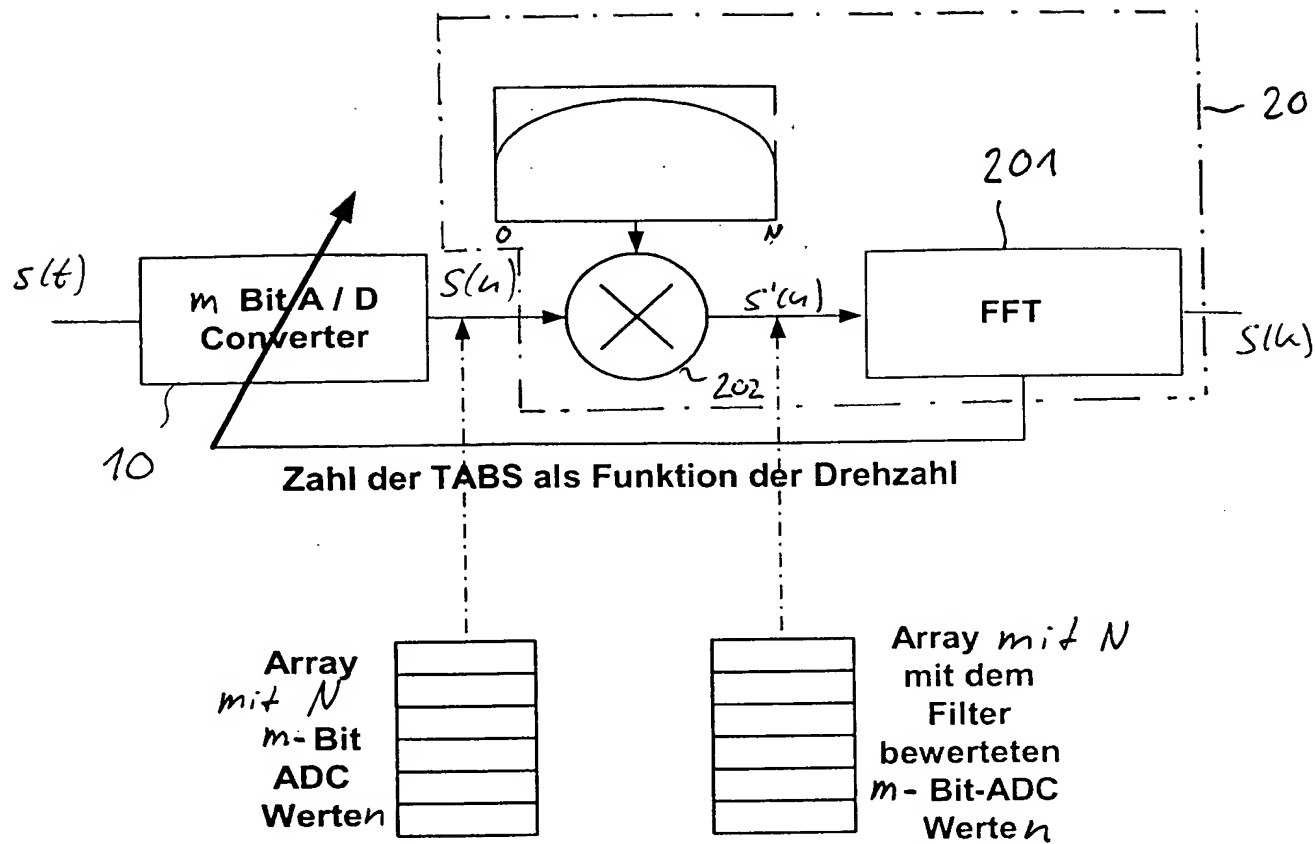


FIG 10

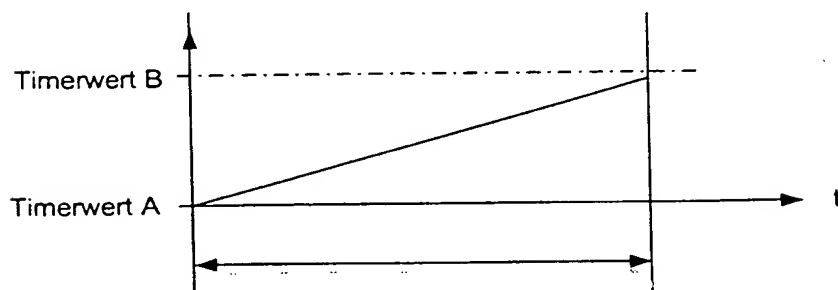
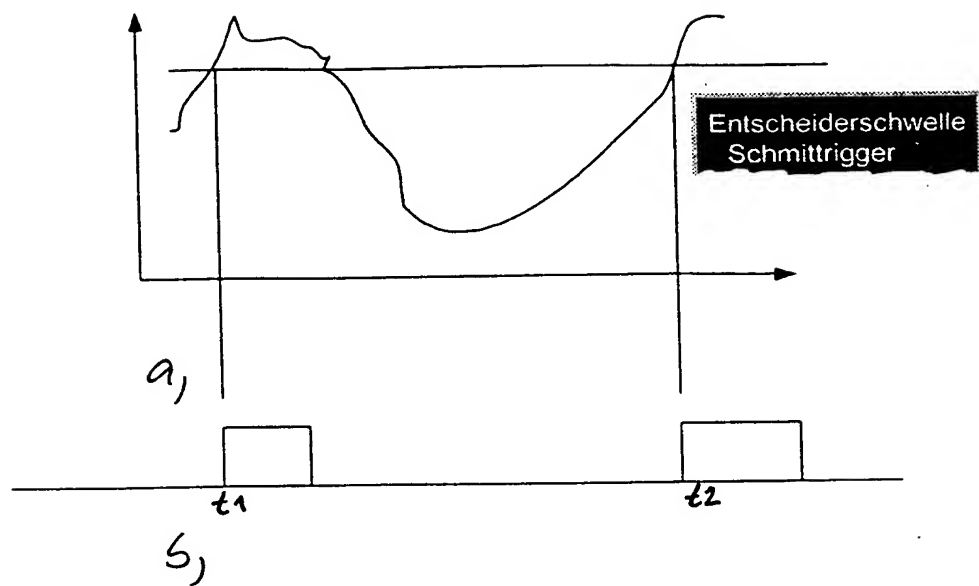


FIG 11